

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-031694

(43)Date of publication of application : 29. 01. 2004

(51)Int. Cl.

H01L 43/08

H01F 10/32

H01L 27/105

(21)Application number : 2002-
186791

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 26. 06. 2002

(72)Inventor : HIGO YUTAKA
HOSOMI MASAKATSU
OBA KAZUHIRO
SONE TAKESHI
BESSHO KAZUHIRO
YAMAMOTO TETSUYA
MIZUGUCHI TETSUYA
KANO HIROSHI

(54) MAGNETORESISTIVE ELEMENT AND MAGNETIC MEMORY DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetoresistive element which has excellent magnetic characteristics, and to provide a magnetic memory device which uses the magnetoresistive element and has excellent write/read characteristics.

SOLUTION: In this magnetoresistive element 1, a pair of ferromagnetic layers (a pinned magnetic layer 5 and a free magnetic layer 7) face each other with an intermediate layer 6 in between them, and magnetoresistance is varied by an electric current in the direction vertical to layer surfaces. The free magnetic layer 7 is composed of a ferromagnetic material containing FeCoB or FeCoNiB, and has a thickness of ≥ 2 nm and ≤ 8 nm. The magnetic memory device comprises magnetoresistive element 1, and bit lines and word lines that sandwich

the magnetoresistive element 1 in the direction of thickness.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]	22.04.2004
[Date of sending the examiner's decision of rejection]	15.02.2005
[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]	
[Date of final disposal for application]	
[Patent number]	3729159
[Date of registration]	14.10.2005
[Number of appeal against examiner's decision of rejection]	2005-004730
[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]	17.03.2005
[Date of extinction of right]	

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]

It is the magneto-resistive effect component of a configuration of obtaining magnetic-reluctance change by a pair of ferromagnetic layer's coming to counter through an interlayer, and passing a current perpendicularly to a film surface,

One side of the above-mentioned ferromagnetic layer is the magnetization fixed bed, and another side is a magnetization free layer,

The above-mentioned magnetization free layer consists of the ferromagnetic ingredient containing FeCoB or FeCoNiB,

And the thickness of the above-mentioned magnetization free layer is 2nm or more 8nm or less.

The magneto-resistive effect component characterized by things.

[Claim 2]

The magneto-resistive effect component according to claim 1

characterized by being a tunnel magneto-resistive effect component using the tunnel barrier layer which consists of an insulator or a semi-conductor as the above-mentioned middle class.

[Claim 3]

The magneto-resistive effect component according to claim 1 characterized by having laminating ferry structure.

[Claim 4]

The magneto-resistive effect component designed so that it might have ferromagnetic tunnel association which changes on both sides of a tunnel barrier layer between a pair of ferromagnetic layers and a current might flow perpendicularly to a film surface,

It is the magnetic memory apparatus equipped with the word line and bit line whose above-mentioned magneto-resistive effect component is pinched in the thickness direction,

One side of the above-mentioned ferromagnetic layer is the magnetization fixed bed, and another side is a magnetization free layer,

The above-mentioned magnetization free layer consists of the ferromagnetic ingredient containing FeCoB or FeCoNiB,

And the thickness of the above-mentioned magnetization free layer is 2nm or more 8nm or less.

The magnetic memory apparatus characterized by things.

[Claim 5]

The above-mentioned magneto-resistive effect component is a magnetic memory apparatus according to claim 4 characterized by being a tunnel magneto-resistive effect component using the tunnel barrier layer which consists of an insulator or a semi-conductor as the above-mentioned middle class.

[Claim 6]

The magnetic memory apparatus according to claim 4 to which the above-mentioned magneto-resistive effect component is characterized by having laminating ferry structure.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

This invention relates to the magnetic memory apparatus which is

equipped with the magneto-resistive effect component and magneto-resistive effect component of a configuration of obtaining magnetic-reluctance change, and changes by passing a current perpendicularly to a film surface.

[0002]

[Description of the Prior Art]

Much more high performance-ization of high integration, improvement in the speed, low electrification, etc. is requested from components which constitute this, such as memory and logic, with the fast spread of personal small devices, such as information communication equipment, especially a personal digital assistant. Especially the high density and large capacity-ization of nonvolatile memory are becoming still more important as a technique which essentially replaces the hard disk which cannot be miniaturized, and an optical disk by existence for moving part.

[0003]

The flash memory using the semi-conductor as nonvolatile memory, FRAM (Ferro electric Random Access Memory) using a ferroelectric, etc. are mentioned.

However, a flash memory has the fault that drawing speed is as slow as the order of μ second. On the other hand, the problem that there are few rewritable counts is pointed out in FRAM.

[0004]

The magnetic memory called MRAM (Magnetic Random Access Memory) which is indicated by "Wanget al., IEEE Trans.Magn.33 (1997), 4498" is observed as nonvolatile memory without these faults. Since this MRAM has simple structure, high integration is easy, and a rewritable count is size in order to record by rotation of the magnetic moment. Moreover, it is expected that it is very high-speed also about the access time, and it is checked that it can already operate by the nanosecond level.

[0005]

The magneto-resistive effect component used for this MRAM, especially a tunnel magneto-resistive effect (Tunnel Magnetoresistance:TMR) component consist of laminated structures of a ferromagnetic layer, a tunnel barrier layer, and a ferromagnetic layer fundamentally. With this component, where a fixed current is passed between ferromagnetic layers, when an external magnetic field is impressed between ferromagnetic layers, a magneto-resistive effect shows up according to whenever [angular relation / of magnetization of both magnetic layers]. When the sense of magnetization of both ferromagnetic layers is anti-parallel, resistance serves as max, and when parallel, resistance serves as min. The function as a memory device is brought about by making a condition

parallel to anti-parallel by the external magnetic field.

[0006]

It considers as the magnetization fixed bed which it set always constant [the sense of magnetization] in the TMR component of a spin bulb mold by combining with the antiferromagnetism layer which one ferromagnetic layer adjoins in antiferromagnetism especially. The ferromagnetic layer of another side is used as the magnetization free layer which carries out flux reversal easily by the external magnetic field etc. And this magnetization free layer turns into an information recording layer in magnetic memory.

[0007]

In the TMR component of a spin bulb mold, the rate of a resistance value change is expressed with the following formula (A), when the rate of spin polarization of each ferromagnetic layer is set to P1 and P2.

$$2P_1P_2/(1-P_1P_2) \quad (A)$$

[0008]

Thus, resistance rate of change becomes large, so that each rate of spin polarization is large. About the ingredient used for a ferromagnetic layer, and the relation of this resistance rate of change, the report about the ferromagnetic element of Fe groups, such as Fe, Co, and nickel, or the alloy of these three kinds of inside is made until now.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

By the way, two or more bit write-in lines (the so-called bit line) and two or more WORD write-in lines (the so-called word line) which intersect perpendicularly with the bit write-in line of these plurality are formed, a TMR component is allotted as a magnetic memory device at the intersection of a these bit write-in line and a WORD write-in line, and the fundamental configuration of MRAM changes as indicated by JP, 10-116490, A. And in case it records by such MRAM, selection writing is performed to a TMR component using an asteroid property.

[0010]

the conductor usually used for the bit write-in line and the WORD write-in line which are used for MRAM with semi-conductors, such as Cu and aluminum, — in order to use a thin film, for example, to write in the component of reversal field 200e by the write-in line of 0.25-micrometer line breadth, about 2mA current was required. When the thickness of a write-in line is the same as line breadth, the current density in that case is $3.2 \times 10^6 \text{ A/cm}^2$. It becomes and is close to the open-circuit threshold value by electromigration. Moreover, it is necessary to reduce this write-in current also from the problem of generation of heat by the

write-in current, and a viewpoint of power consumption reduction.

[0011]

Reducing the coercive force of a TMR component is mentioned as the technique of realizing reduction of the write-in current in MRAM. The coercive force of a TMR component is suitably determined by the magnitude of a component, a configuration, a film configuration, selection of an ingredient, etc.

However, when a TMR component is made detailed, for example for the purpose of improvement in the recording density of MRAM, un-arranging [that the coercive force of a TMR component goes up] arises. Therefore, in order to write in with detailed-ization (high integration) of MRAM and to attain reduction of a current to coincidence, it is necessary to attain coercive force reduction of a TMR component from an ingredient side.

[0012]

Moreover, when the magnetic properties of a TMR component varying for every component in MRAM and dispersion at the time of repeating and using the same component exist, there is a trouble that the selection writing which used the asteroid property becomes difficult. Therefore, a TMR component is asked also for the magnetic properties for making an ideal asteroid curve draw.

In order to make an ideal asteroid curve draw, that there are no noises, such as a Barkhausen noise, in the R-H (resistance-magnetic field) loop formation at the time of performing TMR measurement, wave-like square shape nature's being good, and a magnetization condition are stable, and it is required for there to be little dispersion in coercive force H_c .

[0013]

By the way, read-out of the information in the TMR component of MRAM sets to "0" "1" and that case where each magnetic moment is conversely parallel, when the sense of the magnetic moment of a ferromagnetic layer and the ferromagnetic layer of another side is anti-parallel and while the tunnel barrier layer was pinched has high resistance, and it performs read-out with the difference electrical potential difference in differential current and the fixed bias current in fixed bias voltage in those conditions.

Therefore, when resistance dispersion between components is the same, it is so advantageous that a TMR ratio (magnetic-reluctance rate of change) is high, a degree of integration is high at high speed, and memory with a low error rate is realized.

[0014]

Moreover, it is known that a TMR ratio will decrease as the bias voltage

dependency of a TMR ratio exists in the TMR component which has the basic structure of a ferromagnetic layer / tunnel barrier layer / ferromagnetic layer and bias voltage rises. Since reading on the electrical potential difference (V_h) which a TMR ratio reduces by half with a bias voltage dependency in many cases, and taking the maximum of a signal is known, little direction also reads a bias voltage dependency and it is effective in reduction of an error.

[0015]

Therefore, it is necessary to read with the above-mentioned requirements for a write-in property, and to be satisfied with coincidence of the requirements for a property as a TMR component used for MRAM.

[0016]

However, when choosing the ingredient of the ferromagnetic layer of a TMR component and an alloy presentation to which the rate of spin polarization shown by P1 and P2 of a formula (A) becomes large is chosen from the ingredient which uses only the ferromagnetic transition-metals element of Co, Fe, and nickel as a component, it is in the inclination for the coercive force H_c of a TMR component to increase generally.

[0017]

For example, although the rate of spin polarization is large and 40% or more of high TMR ratio can be secured when Co75Fe25 (atomic %) alloy etc. is used for a magnetization free layer (free layer), i.e., an information recording layer, coercive force H_c also becomes large.

[0018]

When nickel80Fe20 (atomic %) alloy called the permalloy known as soft magnetic materials on the other hand is used, since the rate of spin polarization is low as compared with Co75Fe25 (atomic %) above-mentioned alloy of what can reduce coercive force H_c , a TMR ratio will fall to about 33%.

[0019]

Furthermore, if Co90Fe10 (atomic %) alloy which has the middle property of the alloy of two above-mentioned presentations is used, while about 37% of TMR ratio will be obtained, although stopped by middle extent of Co75Fe25 (atomic %) above-mentioned alloy and nickel80Fe20 (atomic %) alloy, coercive force H_c The square shape nature of a R-H loop formation (resistance-magnetic field curve) is inferior, and the asteroid property which makes writing possible is not acquired. Moreover, the problem that the reversal field of the magnetization free layer for every component is not stabilized is also generated.

[0020]

The magnetic memory apparatus which has the magneto-resistive effect

component which has good magnetic properties in this invention, and the writing and the read-out property of having had this magneto-resistive effect component and having excelled, for solution of the problem mentioned above is offered.

[0021]

[Means for Solving the Problem]

The magneto-resistive effect component of this invention is the configuration of obtaining magnetic-reluctance change by a pair of ferromagnetic layer's coming to counter through an interlayer, and passing a current perpendicularly to a film surface, one side of a ferromagnetic layer is the magnetization fixed bed, another side is a magnetization free layer, a magnetization free layer consists of the ferromagnetic ingredient containing FeCoB or FeCoNiB, and the thickness of a magnetization free layer is 2nm or more 8nm or less.

[0022]

The magneto-resistive effect component designed so that the magnetic memory apparatus of this invention might have ferromagnetic tunnel association which changes on both sides of a tunnel barrier layer between a pair of ferromagnetic layers and a current might flow perpendicularly to a film surface, It has the word line and bit line whose magneto-resistive effect component of this is pinched in the thickness direction. One side of a ferromagnetic layer is the magnetization fixed bed, another side is a magnetization free layer, a magnetization free layer consists of the ferromagnetic ingredient containing FeCoB or FeCoNiB, and the thickness of a magnetization free layer is 2nm or more 8nm or less.

[0023]

According to the configuration of the magneto-resistive effect component of above-mentioned this invention, it enables it for the thickness of a magnetization free layer to improve magnetic-reluctance rate of change (magnetic-reluctance ratio), and to improve dispersion in the square shape nature of a resistance-magnetic field curve, or coercive force by [2nm or more] being 8nm or less, by a magnetization free layer consisting of the ferromagnetic ingredient containing FeCoB or FeCoNiB.

[0024]

According to the configuration of the magnetic memory apparatus of above-mentioned this invention, since it has a magneto-resistive effect component, and the word line and bit line whose magneto-resistive effect component is pinched in the thickness direction, and the magnetic properties of magneto-resistive effect components, such as a magnetic-reluctance ratio, the square shape nature of a resistance-magnetic field

curve, and dispersion of coercive force, are improved as mentioned above when a magneto-resistive effect component is the configuration of the magneto-resistive effect component of above-mentioned this invention, the error in writing and read-out of information can be reduced.

[0025]

[Embodiment of the Invention]

This invention is the magneto-resistive effect component of a configuration of obtaining magnetic-reluctance change by a pair of ferromagnetic layer coming to counter through an interlayer, and passing a current perpendicularly to a film surface, one side of a ferromagnetic layer is the magnetization fixed bed, another side is a magnetization free layer, a magnetization free layer consists of the ferromagnetic ingredient containing FeCoB or FeCoNiB, and the thickness of a magnetization free layer is 2nm or more magneto-resistive effect component it is [component] 8nm or less.

[0026]

Moreover, this invention is considered as the configuration which is a tunnel magneto-resistive effect component using the tunnel barrier layer which consists of an insulator or a semi-conductor as the middle class in the above-mentioned magneto-resistive effect component.

[0027]

Moreover, this invention is considered as the configuration which has laminating ferry structure in the above-mentioned magneto-resistive effect component.

[0028]

The magneto-resistive effect component designed so that this invention might have ferromagnetic tunnel association which changes on both sides of a tunnel barrier layer between a pair of ferromagnetic layers and a current might flow perpendicularly to a film surface, It is the magnetic memory apparatus equipped with the word line and bit line whose magneto-resistive effect component is pinched in the thickness direction. One side of a ferromagnetic layer is the magnetization fixed bed, another side is a magnetization free layer, a magnetization free layer consists of the ferromagnetic ingredient containing FeCoB or FeCoNiB, and the thickness of a magnetization free layer is magnetic 2nm or more memory apparatus it is [memory apparatus] 8nm or less.

[0029]

Moreover, this invention considers a magneto-resistive effect component as the configuration which is a tunnel magneto-resistive effect component using the tunnel barrier layer which consists of an insulator or a semi-conductor as the middle class in the above-mentioned magnetic

memory apparatus.

[0030]

Moreover, in the above-mentioned magnetic memory apparatus, a magneto-resistive effect component considers this invention as the configuration which has laminating ferry structure.

[0031]

First, the outline block diagram of the gestalt of 1 operation of the magneto-resistive effect component of this invention is shown in drawing 1 . The gestalt of operation shown in this drawing 1 shows the case where this invention is applied to a tunnel magneto-resistive effect component (a TMR component is called hereafter.).

[0032]

On the substrate 2 which consists of silicon etc., the laminating of the substrate layer 3, the antiferromagnetism layer 4, the magnetization fixed bed 5 that is a ferromagnetic layer, the tunnel barrier layer 6, the magnetization free layer 7 which is a ferromagnetic layer, and the topcoat layer 8 is carried out to this order, and this TMR component 1 is constituted. That is, the ferromagnetic tunnel junction 9 is formed by constituting the so-called spin bulb type with which one side of a ferromagnetic layer was used as the magnetization fixed bed 5, and another side was used as the magnetization free layer 7 of TMR component, and putting the tunnel barrier layer 6 in the magnetization fixed bed 5 and the magnetization free layer 7 which are a pair of ferromagnetic layer.

And when this TMR component 1 is applied to a magnetic memory apparatus etc., the magnetization free layer 7 turns into an information recording layer, and information is recorded there.

[0033]

The antiferromagnetism layer 4 is a layer for not reversing magnetization of the magnetization fixed bed 5 and setting always constant the sense of magnetization of the magnetization fixed bed 5 also by the current field for writing, by a ferromagnetic layer's coming out on the other hand, and combining with a certain magnetization fixed bed 5 in antiferromagnetism. That is, in the TMR component 1 shown in drawing 1 , flux reversal only of the magnetization free layer 7 which is a ferromagnetic layer of another side is carried out by an external magnetic field etc. Since the magnetization free layer 7 turns into a layer on which information is recorded when the TMR component 1 is applied to for example, a magnetic memory apparatus etc., it is also called an information recording layer.

As an ingredient which constitutes the antiferromagnetism layer 4, Mn

alloy containing Fe, nickel, Pt, Ir, Rh, etc., Co oxide, nickel oxide, etc. can be used.

[0034]

As a ferromagnetic material which constitutes the magnetization fixed bed 5, although there is especially no limitation, it can use the alloy ingredient which consists of one sort of iron, nickel, and cobalt, or two sorts or more.

[0035]

In the TMR component 1 of the spin bulb mold shown in drawing 1, it sets the magnetization fixed bed 5 constant in the sense of magnetization by combining with the antiferromagnetism layer 4 in antiferromagnetism. For this reason, magnetization of the magnetization fixed bed 5 is not reversed by the current field in the case of writing, either.

[0036]

The tunnel barrier layer 6 is a layer for passing tunnel current while separating magnetically the magnetization fixed bed 5 and the magnetization free layer 7.

As an ingredient which constitutes the tunnel barrier layer 6, insulating materials, such as oxides, such as aluminum, Mg, Si, Li, and calcium, a nitride, and a halogenide, can be used, for example.

[0037]

Such a tunnel barrier layer 6 can be obtained by oxidizing or nitriding the metal membrane formed by the sputtering method, vacuum deposition, etc.

Moreover, it can obtain also with the CVD method using an organic metal, oxygen, ozone and nitrogen, a halogen, halogenation gas, etc.

[0038]

Especially in the gestalt of this operation, it considers as the configuration which consists of the ferromagnetic ingredient with which the magnetization free layer 7 contains CoFeB or CoFeNiB.

By considering as such a configuration, it becomes possible to make a TMR ratio (magnetic-reluctance ratio) high, and to reduce coercive force H_c . Moreover, it becomes possible to improve the square shape nature of a resistance-magnetic field curve (R-H curve).

[0039]

Here, the TMR component in the case where a magnetization free layer contains the ferromagnetic ingredient of a presentation of Co₇₂Fe eight B₂₀ (atomic %) which is within the limits of this invention, and changes, and the case of containing the ferromagnetic ingredient of a presentation of Co₉₀Fe₁₀ (atomic %), and changing is actually produced,

respectively, and the result of having measured the resistance-external magnetic field curve about these is shown in drawing 2 . The case where a drawing solid line is Co72Fe8B20 is shown, and the case where a drawing destructive line is Co90Fe10 is shown.

With the TMR component of a configuration of consisting of the ferromagnetic layer in which a magnetization free layer contains Fe, Co, and B, it turns out that it is possible to reduce coercive force H_c as compared with the TMR component which consists of the ferromagnetic layer in which a magnetization free layer contains only Fe and Co, maintaining a TMR ratio highly so that clearly from drawing 2 . Moreover, while the square shape nature of a resistance-external magnetic field curve (R-H curve) improves, it turns out that a Barkhausen noise is also reduced. Therefore, according to this invention, the configuration of an asteroid curve is also improved, it writes in reduction of a write-in current is not only attained, but, a property improves, and it becomes possible to aim at reduction of a write error.

[0040]

In addition, as the optimal range exists in the presentation of FeCoB and FeCoNiB and being indicated to the application for patent No. 106926 [2002 to] It is desirable to consider as $5 < x < 45$, $35 < y < 85$, and the range that fills $10 < z < 30$ in $\text{Fe}_x\text{Co}_y\text{B}_z$ (atomic %), and it sets to $\text{Fe}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{B}_d$ (atomic %). It is desirable to consider as $5 < a < 45$, $35 < b < 85$, $0 < c < 35$, and the range that fills $10 < d < 30$.

[0041]

Furthermore, thickness of the magnetization free layer 7 is set to 2nm or more 8nm or less in the gestalt of this operation. While making a TMR ratio high by considering as such thickness range, dispersion in the coercive force of the magnetization free layer 7 can be reduced. Since dispersion in the coercive force of the magnetization free layer 7 is reduced, dispersion in the reversal field which reverses magnetization of the magnetization free layer 7 can be reduced. Moreover, the magnetic reversal of the magnetization free layer 7 becomes steep.

[0042]

The read-out property at the time of applying, for example to a magnetic memory apparatus from the TMR ratio of the TMR component 1 becoming it small that the thickness of the magnetization free layer 7 is less than 2nm worsens.

When the thickness of the magnetization free layer 7 is over 8nm, incompleteness will be brought to the write-in actuation at the time of applying, for example to a magnetic memory apparatus from what the magnetic reversal of the magnetization free layer 7 will not happen

steeply (responsibility worsens).

[0043]

According to the configuration of the TMR component 1 of the gestalt of this above-mentioned operation, by consisting of the ferromagnetic ingredient with which the magnetization free layer 7 contains CoFeB or CoFeNiB, when the thickness of the magnetization free layer 7 is 2nm or more 8nm or less, a high TMR ratio (magnetic-reluctance ratio) is obtained, and the square shape nature of a resistance-magnetic field curve can be improved. Moreover, while reducing coercive force H_c , the dispersion can be controlled, and the configuration of the asteroid curve of the TMR component 1 can be improved. Furthermore, the magnetic reversal of the magnetization free layer 7 can also happen steeply.

[0044]

When this applies the TMR component 1 to the magnetic memory apparatus which has many TMR components and changes, a write error can be reduced by improving the configuration of the asteroid curve of the TMR component 1, and making steep flux reversal of the magnetization free layer 7, and improving a write-in property.

Moreover, when a TMR component is applied to the magnetic head and the magnetometric sensor which have and change, it becomes possible to prevent controlling the gap from the design value of a reversal field, and improving the manufacture yield, and a malfunction.

[0045]

In addition, in this invention, each of the magnetization fixed bed 5 as shown in drawing 1, and the magnetization free layer 7 is not limited to the TMR component 1 which consisted of monolayers.

For example, as shown in drawing 3, even if it is the case where it considers as the laminating ferry structure where the magnetization fixed bed 5 puts nonmagnetic conductor layer 5c, and becomes by 1st magnetization fixed-bed 5a and 2nd magnetization fixed-bed 5b, the effectiveness of this invention can be acquired.

[0046]

With the TMR component 10 shown in drawing 3, 1st magnetization fixed-bed 5a is in contact with the antiferromagnetism layer 4, and 1st magnetization fixed-bed 5a has the magnetic anisotropy of a strong one direction by the exchange interaction committed among these layers. Moreover, 2nd magnetization fixed-bed 5b counters with the magnetization free layer 7 through the tunnel barrier layer 6, and since the sense of spin is compared with the magnetization free layer 7 and serves as a ferromagnetic layer in connection with a direct MR ratio, it is also called a reference layer.

[0047]

As an ingredient used for nonmagnetic conductor layer 5c of laminating ferry structure, Ru, Rh, Ir, Cu, Cr, Au, Ag, etc. are mentioned, for example. In the TMR component 10 of drawing 3, since other layers are the almost same configurations as the TMR component 1 shown in drawing 1, they attach the same sign as drawing 1, and omit detailed explanation.

[0048]

Also in the TMR component 10 which has this laminating ferry structure, when it consists of the ferromagnetic ingredient with which the magnetization free layer 7 contains CoFeB or CoFeNiB and the thickness of the magnetization free layer 7 considers as 2nm or more configuration it is [configuration] 8nm or less, like the TMR component 1 showed in drawing 1, a high TMR ratio (magnetic-reluctance ratio) is obtain, and the square shape nature of a resistance-magnetic field curve can be improve. Moreover, while reducing coercive force Hc, the dispersion can be controlled, and the configuration of the asteroid curve of the TMR component 10 can be improved. Furthermore, the magnetic reversal of the magnetization free layer 7 can also happen steeply.

[0049]

In addition, with the gestalt of above-mentioned operation, although the TMR components (tunnel magneto-resistive effect component) 1 and 10 were used as a magneto-resistive effect component, a pair of ferromagnetic layer can counter through an interlayer, and this invention can be applied also to the magneto-resistive effect component of others which have the configuration which passes a current perpendicularly to a film surface and obtains magnetic-reluctance change.

For example, this invention is applicable to the so-called CPP type of the configuration which passes a current perpendicularly to a film surface and acquires a magneto-resistive effect with the giant magneto-resistance component (GMR component) using nonmagnetic conductive layers, such as Cu, as an interlayer, i.e., GMR component.

[0050]

Furthermore, unless the essence of this invention is spoiled, various deformation is possible for the ingredient of the magnetization fixed bed or the antiferromagnetic substance, the existence of an antiferromagnetic substance layer, the existence of the laminating ferry structure by the side of the magnetization fixed bed, etc.

[0051]

The above TMR components 1 and the magneto-resistive effect component of 10 grades are used for magnetic memory apparatus, such as MRAM, and are

suitable. Hereafter, MRAM using the TMR component of this invention is explained, referring to drawing.

[0052]

The MRAM array of a cross point mold which has the TMR component of this invention is shown in drawing 4. This MRAM array has two or more word lines WL and two or more bit lines BL which intersect perpendicularly with these word lines WL, and has the memory cell 11 which the TMR component of this invention is arranged and grows into the intersection of a word line WL and a bit line BL. That is, in this MRAM array, the memory cell 11 of 3x3 is arranged in the shape of a matrix.

[0053]

in addition, as a TMR component used for a MRAM array In the magneto-resistive effect component of a configuration of obtaining magnetic-reluctance change by passing a current perpendicularly to the TMR component 10 grade and film surface which are shown in drawing 3 which is not limited to the TMR component 1 shown in drawing 1, but has laminating ferry structure It may consist of the ferromagnetic ingredient with which a magnetization free layer contains CoFeB or CoFeNiB, and as long as thickness is 2nm or more configuration of being 8nm or less, you may be what kind of configuration.

[0054]

Moreover, one memory cell is taken out from an a large number memory cell to a memory apparatus, and cross-section structure is shown in drawing 5.

Each memory cell 11 has the transistor 16 which consists of the gate electrode 13, a source field 14, and a drain field 15 on a silicon substrate 12, as shown in drawing 5. The gate electrode 13 constitutes the word line WL1 for read-out. On the gate electrode 13, it writes in through an insulating layer and the word line (it is equivalent to the WORD write-in line mentioned above) WL2 of business is formed. The contact metal 17 is connected to the drain field 15 of a transistor 16, and the substrate layer 18 is further connected to the contact metal 17. The TMR component 1 of this invention is formed in the location [/ above the word line WL2 for the writing on this substrate layer 18]. On this TMR component 1, the bit line (it is equivalent to the bit write-in line mentioned above) BL which intersects perpendicularly with word lines WL1 and WL2 is formed. In addition, the substrate film 18 is also called a bypass from the role which carries out electrical installation of the TMR component 1 and the drain field 15 where flat-surface locations differ.

Moreover, it has the interlayer insulation film 19 for insulating each

word lines WL1 and WL2 and the TMR component 1 and an insulator layer 20, the passivation film (not shown) that protects the whole, and changes.

[0055]

Since the TMR component 1 considered as the configuration which is specification within the limits which consisted of the ferromagnetic ingredient with which the magnetization free layer 7 contains CoFeB or CoFeNiB, and the thickness of the magnetization free layer 7 mentioned above is used for this MRAM, it is extremely excellent in a TMR output, and its stability of memory actuation improves by leaps and bounds. Moreover, since a noise decreases in a resistance-magnetic field curve (R-H curve), coercive force becomes homogeneity and an asteroid property improves, reduction of a write error can be aimed at. Furthermore, since the flux reversal of the magnetization free layer 7 becomes steep, write-in actuation is made completely.

That is, it can be satisfied with coincidence of a read-out property and a write-in property.

[0056]

(Example)

Hereafter, the concrete example which applied this invention is explained based on an experimental result.

In addition, as shown in drawing 5, the transistor 16 for switching existed in MRAM in addition to TMR component 1, but in this example, in order to investigate a TMR property, the wafer in which only the ferromagnetic tunnel junction as shown in drawing 6 and drawing 7 was formed performed measurement and evaluation of a property.

And when FeCoB or FeCoNiB was used for a magnetization free layer, the effectiveness which the thickness exerts on a TMR ratio or magnetic properties was examined.

[0057]

As a component TEG for characterization (Test Element Group), on a substrate 21, the word line WL and the bit line BL intersected perpendicularly, and have been arranged, and the structure [in / to a top view / drawing 6] where the TMR component 22 was formed in the crossing part of these word lines WL and a bit line BL was produced so that a sectional view [in / to drawing 7 / A-A of drawing 6] might be shown, respectively. the TMR component 22 is elliptical and terminal pads 23 and 24 form this TEG in the both ends of a word line WL and a bit line BL, respectively -- having -- a word line WL and a bit line BL -- aluminum 203 from -- it has composition mutually insulated electrically by the insulator layers 25 and 26 which change.

In addition, the elliptical TMR component 22 produced the thing of three

kinds of dimensions, 1.2 micrometers of 0.6 micrometer x major axes of minor axes, 1.6 micrometers of 0.8 micrometer x major axes of minor axes, and 4.0 micrometer [of 2.0 micrometer x major axes of minor axes] **. [0058]

TEG specifically shown in the drawing 6 ****7 as follows was produced. First, the substrate 21 which consists of the silicon with a thickness of 0.6mm with which the thermal oxidation film (2 micrometers in thickness) was formed in the front face was prepared.

Next, the ingredient of a word line was formed on this substrate 21, after carrying out a mask by the photolithography, parts other than a word line were alternatively etched by Ar plasma, and the word line WL was formed. At this time, fields other than word line WL were etched to a depth of 5nm of a substrate 21.

Then, the word line WL was covered, the insulator layer 26 was formed, and flattening of the front face was carried out.

[0059]

Then, the TMR component 22 which consists of the following lamination (1) was produced by the well-known lithography method and well-known etching. As for lamination (1), the left-hand side of / has become the substrate side, and the inside of () shows thickness.

Ta (3nm)/PtMn (30nm)/CoFe (3nm)/Ru (0.8nm)/CoFe (2.5nm)/Al (1nm)-Ox /FeCoB (tnm)/Ta (5nm) -(1)

[0060]

In addition, the presentation of FeCoB which constitutes a magnetization free-among above-mentioned lamination (1) layer was set to Fe8Co 72B20 (atomic %) or Fe20Co 60B20 (atomic %).

Moreover, the presentation of each CoFe film was set to Co75Fe25 (atomic %).

[0061]

aluminum-Ox of the tunnel barrier layer 6 The film was formed by making 1nm of metal aluminum film deposit by DC spatter first, setting flow rate of oxygen/argon to 1:1 after that, setting chamber gas pressure to 0.1mTorr(s), and carrying out plasma oxidation of the metal aluminum film by the plasma from ICP (inductively coupled plasma). Oxidation time amount was made into 30 seconds by this example, although it was dependent on the ICP plasma output.

[0062]

Moreover, aluminum-Ox of the tunnel barrier layer 6 Film other than the film formed membranes by the DC magnetron sputtering method.

[0063]

Next, the heat treating furnace in a magnetic field performed the inside

of the field of 10kOe, heat treatment of 4 hours was performed at 265 degrees C, regulation-ized heat treatment of the PtMn layer which is an antiferromagnetism layer was performed, and the ferromagnetic tunnel junction 9 was formed.

Then, patterning of the TMR component 22 and the insulator layer 26 under it was carried out, and the TMR component 22 which has the flat-surface pattern shown in drawing 6 was formed.

Furthermore, aluminum 203 By carrying out a spatter, the insulating layer 25 with a thickness of about 100nm was formed, the bit line BL and the terminal pad 24 were further formed by the photolithography, and TEG shown in drawing 6 and drawing 7 was obtained.

[0064]

About TEG of the produced sample, the R-H curve was measured as follows and it asked for a TMR ratio, coercive force, and its dispersion and remanence ratio from the R-H curve further.

[0065]

(Measurement of a R-H curve)

Although flux reversal of the magneto-resistive effect component was carried out and information was written in by the current field in magnetic memory apparatus, such as the usual MRAM, resistance was measured in this example by making a magneto-resistive effect component magnetize by the external magnetic field. That is, the external magnetic field (reversal field) for carrying out flux reversal of the magnetization free layer of the TMR component 22 first was impressed so that it might become parallel to the easy axis of a magnetization free layer. Magnitude of the external magnetic field for measurement was set to 1000e.

[0066]

Next, while seeing from the one side of the easy axis of a magnetization free layer and carrying out the sweep from -1000e to +1000e, it adjusted so that the bias voltage concerning the terminal pad 23 of a word line WL and the terminal pad 24 of a bit line BL might be set to 100mV, and tunnel current was passed to the ferromagnetic tunnel junction. The resistance over each external magnetic field at this time was measured, and the R-H curve was obtained.

[0067]

(TMR ratio)

The condition of anti-parallel has magnetization of the magnetization fixed bed and a magnetization free layer, an parallel condition has the resistance of the condition that resistance is high, and magnetization of the magnetization fixed bed and a magnetization free layer,

resistance measured the resistance of a low condition, and it asked for the TMR ratio (magnetic-reluctance rate of change) from these.

In addition, as for the viewpoint of acquiring a good read-out property to this TMR ratio, it is desirable that it is 45% or more.

[0068]

(Dispersion in coercive force H_c)

The R-H curve was measured with the above-mentioned measuring method, from the R-H curve, magnetization of the magnetization fixed bed and a magnetization free layer is in the condition of anti-parallel, the resistance in the condition that resistance is high, and magnetization of the magnetization fixed bed and a magnetization free layer are in an parallel condition, the average with the resistance in the condition that resistance is low was calculated, and the value of an external magnetic field in case the resistance of this average is acquired was made into coercive force H_c . This coercive force H_c was performed to all the components (TEG) in a wafer, and it asked for such averages and standard deviation σ . And $\sigma/(average\ of\ H_c)$ was made into the value of dispersion in coercive force H_c .

In addition, as for dispersion in the viewpoint of aiming at improvement in a write-in property to the coercive force H_c , it is desirable that it is 10% or less.

[0069]

first, the presentation of a magnetization free layer -- the size of Fe8Co 72B20 (atomic %) and the TMR component 22 -- $0.8 \times 1.6 \mu m^2$ it is -- the resistance-magnetic field curve (R-H curve) when changing the thickness t of a magnetization free layer with 1.5nm, 3nm, and 10nm is shown in drawing 8. In addition, the axis of ordinate shows the rate (%) from which resistance changed with tunnel magnetic effects (TMR) instead of resistance.

[0070]

As shown in drawing 8, in the case of $t = 3nm$ of thickness of a magnetization free layer, a high TMR ratio and steep flux reversal are realized. In addition, although not illustrated, when the thickness t of a magnetization free layer was within the limits which is $2\ nm < t \leq 8nm$, such an ideal R-H curve was observed.

Moreover, when a magnetization free layer is thinner than 2nm, in $t = 1.5nm$, the TMR ratio has decreased to 20%. This is because the magnetization free layer cannot fully hold magnetization.

Furthermore, in $t = 10nm$, when a magnetization free layer is thicker than 8nm, although a TMR ratio maintains a high value, magnetic reversal has happened at two steps and it turns out that the 2nd reversal is very

loose.

In magnetic memory apparatus, such as MRAM, in order to perform selection writing, when it is required for magnetization to be steeply reversed and this point is taken into consideration, it turns out that it is inconvenient to make a magnetization free layer thicker than 8nm.

[0071]

Then, the relation between the thickness of the magnetization free layer at the time of changing the thickness t of a magnetization free layer with 1.5nm, 2nm, 2.5nm, 3nm, 4nm, 6nm, 8nm, and 10nm, and the average of a TMR ratio and coercive force H_c and dispersion of coercive force H_c is shown in drawing 9 A, drawing 9 B, and drawing 9 C, respectively by setting the presentation of a magnetization free layer to Fe8Co 72B20 (atomic %).

Moreover, the relation between the thickness of the magnetization free layer at the time of changing the thickness t of a magnetization free layer like drawing 9 A - drawing 9 C, and the average of a TMR ratio and coercive force H_c and dispersion of coercive force H_c is shown in drawing 10 A, drawing 10 B, and drawing 10 C, respectively by setting the presentation of a magnetization free layer to Fe20Co 60B20 (atomic %).

[0072]

In [any] the presentation, from drawing 9 A and drawing 10 A, the value which can bear a TMR ratio at 45% or more and practical use when the thickness of a magnetization free layer is 2nm or more was shown. It is saturated with Fe8Co 72B20 (atomic %), and when thickness of a magnetization free layer is set to about 3nm, it is saturated with Fe20Co 60B20 (atomic %) in 57% of value 54%, respectively.

[0073]

Coercive force H_c (average) increases from drawing 9 B and drawing 10 B in monotone with thickness, when the thickness of a magnetization free layer is the range which is 2nm - 3nm. In this range, in order to acquire the required coercive force H_c , it is possible to adjust the thickness of a magnetization free layer. Like a TMR ratio, if the thickness of a magnetization free layer is set to 3nm or more, the reversal field H_c will hardly increase.

However, as mentioned above, when the thickness of a magnetization free layer is thicker than 8nm, it is necessary to notice flux reversal about it not being steep.

[0074]

Furthermore, although it will be based also on component size from drawing 9 C and drawing 10 C if dispersion in coercive force H_c is seen,

with a detailed component (** mark of each drawing), it turns out that the thickness of a magnetization free layer has the minimum by about 4nm. And when the thickness of a magnetization free layer exceeds less than 2nm or 8nm, it turns out that coercive force dispersion increases rapidly.

[0075]

It became clear that write in when it turns out that the magnetic properties of the TMR component 22 become good by setting thickness of a magnetization free layer to 2nm or more 8nm or less, therefore applies to magnetic memory apparatus, such as MRAM, and a property and a read-out property are greatly improved from the above result.

[0076]

In addition, although it was the case where FeCoB was used for a magnetization free layer, in this example, it writes in, when the magnetic properties of the TMR component 22 become good and it applies to magnetic memory apparatus, such as MRAM, similarly [when FeCoNiB is used for a magnetization free layer] by setting thickness of a magnetization free layer to 2nm or more 8nm or less, and a property and a read-out property are improved greatly.

[0077]

in addition, the hard disk drive which carried not only the magnetic memory apparatus that mentioned above the magneto-resistive effect components (TMR component etc.) of this invention but the magnetic head and this magnetic head, a magnetometric sensor, and an integrated circuit chip -- it is further applicable to various electronic equipment including a personal computer, a personal digital assistant, and a cellular phone, electronic equipment, etc.

[0078]

This invention is not limited to the gestalt of above-mentioned operation, and, in addition to this, various configurations can take it in the range which does not deviate from the summary of this invention.

[0079]

[Effect of the Invention]

According to the magneto-resistive effect component of above-mentioned this invention, it becomes possible to improve the steepness of flux reversal, while improving magnetic-reluctance rate of change (magnetic-reluctance ratio) and improving the square shape nature of a resistance-magnetic field curve, and to improve dispersion in coercive force. Therefore, the magneto-resistive effect component which is stabilized and has good magnetic properties can be constituted.

Thereby, when a magneto-resistive effect component is applied to a

magnetic memory apparatus, a write error and a read-out error can be reduced and the outstanding write-in property and the outstanding read-out property are acquired.

[0080]

Moreover, according to the magnetic memory apparatus of this invention, there are very few write errors and read-out errors, and they can constitute the outstanding magnetic memory apparatus which writes in, has a property and a read-out property, and stabilizes and operates.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the outline block diagram of the TMR component of the gestalt of 1 operation of this invention.

[Drawing 2] It is drawing which compared the resistance-external magnetic field curve of a TMR component by the case where the case where CoFeB is used for a magnetization free layer, and CoFe are used.

[Drawing 3] It is the outline block diagram of the TMR component which has laminating ferry structure.

[Drawing 4] It is the outline block diagram showing the important section of the cross point mold MRAM array which has the TMR component of this invention as a memory cell.

[Drawing 5] It is the expanded sectional view of the memory cell shown in drawing 4.

[Drawing 6] It is the top view of TEG for evaluation of a TMR component.

[Drawing 7] It is a sectional view in A-A of drawing 6.

[Drawing 8] It is drawing showing the resistance-magnetic field curve when changing the thickness of a magnetization free layer.

[Drawing 9] It is drawing having shown the thickness at the time of using Fe9Co 72B20 for a magnetization free layer, and the relation of magnetic properties.

A It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and a TMR ratio.

B It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and coercive force.

C It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and coercive force dispersion.

[Drawing 10] It is drawing having shown the thickness at the time of using Fe20Co 60B20 for a magnetization free layer, and the relation of magnetic properties.

A It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and a TMR ratio.

B It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and coercive force.

C It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and coercive force dispersion.

[Description of Notations]

1, 10, and 22 A tunnel magneto-resistive effect component (TMR component) and 21 Substrate, 3 A substrate layer and 4 An antiferromagnetism layer and 5 The magnetization fixed bed and 5a The 1st magnetization fixed bed, 5b — the 2nd magnetization fixed bed (reference layer) and 5c A nonmagnetic conductor layer and 6 A tunnel barrier layer and 7 A magnetization free layer and 9 A ferromagnetic tunnel junction and 11 A memory cell, and 23 and 24 A pad, and WL, WL1 and WL2 A word line and BL Bit line

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the outline block diagram of the TMR component of the gestalt of 1 operation of this invention.

[Drawing 2] It is drawing which compared the resistance-external magnetic field curve of a TMR component by the case where the case where CoFeB is used for a magnetization free layer, and CoFe are used.

[Drawing 3] It is the outline block diagram of the TMR component which has laminating ferry structure.

[Drawing 4] It is the outline block diagram showing the important section of the cross point mold MRAM array which has the TMR component of this invention as a memory cell.

[Drawing 5] It is the expanded sectional view of the memory cell shown in drawing 4 .

[Drawing 6] It is the top view of TEG for evaluation of a TMR component.

[Drawing 7] It is a sectional view in A-A of drawing 6 .

[Drawing 8] It is drawing showing the resistance-magnetic field curve when changing the thickness of a magnetization free layer.

[Drawing 9] It is drawing having shown the thickness at the time of using Fe9Co 72B20 for a magnetization free layer, and the relation of magnetic properties.

A It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and a TMR ratio.

B It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and coercive force.

C It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and coercive force dispersion.

[Drawing 10] It is drawing having shown the thickness at the time of using Fe₂₀Co₆₀B₂₀ for a magnetization free layer, and the relation of magnetic properties.

A It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and a TMR ratio.

B It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and coercive force.

C It is drawing showing the relation between the thickness of a magnetization free layer, and coercive force dispersion.

[Description of Notations]

1, 10, and 22 2 A tunnel magneto-resistive effect component (TMR component) and 21 Substrate, 3 A substrate layer and 4 An antiferromagnetism layer and 5 The magnetization fixed bed and 5a The 1st magnetization fixed bed, 5b — the 2nd magnetization fixed bed (reference layer) and 5c A nonmagnetic conductor layer and 6 A tunnel barrier layer and 7 A magnetization free layer and 9 A ferromagnetic tunnel junction and 11 A memory cell, and 23 and 24 A pad, and WL, WL1 and WL2 A word line and BL Bit line

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-31694

(P2004-31694A)

(43) 公開日 平成16年1月29日(2004.1.29)

(51) Int. Cl.⁷

H01L 43/06

H01F 10/32

H01L 27/105

F1

H01L 43/08

H01F 10/32

H01L 27/10 4 4 7

テーマコード(参考)

5E049

5F083

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2002-186791(P2002-186791)

(22) 出願日 平成14年6月26日(2002.6.26)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(74) 代理人 100122884

弁理士 角田 芳未

(74) 代理人 100113516

弁理士 磯山 弘信

(72) 発明者 肥後 豊

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ

ニー株式会社内

(72) 発明者 細見 政功

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ

ニー株式会社内

最終頁に続く

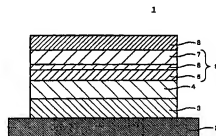
(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子及び磁気メモリ装置

(57) 【要約】

【課題】良好な磁気特性を有する磁気抵抗効果素子、及びこの磁気抵抗効果素子を備えて優れた書き込み・読み出し特性を有する磁気メモリ装置を提供する。

【解決手段】対の強磁性層(磁化固定層5と磁化自由層7)が中間層6を介して対向され、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成であり、磁化自由層7がFeCoB或いはFeCoNiBを含む強磁性材料から成り、かつ磁化自由層7の膜厚が2nm以上8nm以下である磁気抵抗効果素子1、並びにこの磁気抵抗効果素子1と磁気抵抗効果素子1を厚み方向に挟むビット線及びワード線とを備えた磁気メモリ装置を構成する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

対の強磁性層が中間層を介して対向されてなり、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子であって、
上記強磁性層の一方が磁化固定層であり、もう一方が磁化自由層であり、
上記磁化自由層は、 FeCoB 或いは FeCoNiB を含有する強磁性材料から成り、
かつ上記磁化自由層の膜厚が 2 nm 以上 8 nm 以下である
ことを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項2】

上記中間層として絶縁体もしくは半導体から成るトンネルバリア層を用いたトンネル磁気抵抗効果素子であることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。 10

【請求項3】

積層フェリ構造を有することを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項4】

対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んで成る強磁性トンネル結合を有し、膜面に垂直方向に電流が流れるように設計された磁気抵抗効果素子と、

上記磁気抵抗効果素子を厚み方向に挟むワード線及びビット線とを備えた磁気メモリ装置であって、

上記強磁性層の一方が磁化固定層であり、もう一方が磁化自由層であり、

上記磁化自由層は、 FeCoB 或いは FeCoNiB を含有する強磁性材料から成り、 20
かつ上記磁化自由層の膜厚が 2 nm 以上 8 nm 以下である
ことを特徴とする磁気メモリ装置。

【請求項5】

上記磁気抵抗効果素子は、上記中間層として絶縁体もしくは半導体から成るトンネルバリア層を用いたトンネル磁気抵抗効果素子であることを特徴とする請求項4に記載の磁気メモリ装置。

【請求項6】

上記磁気抵抗効果素子が、積層フェリ構造を有することを特徴とする請求項4に記載の磁気メモリ装置。

【発明の詳細な説明】 30

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子及び磁気抵抗効果素子を備えて成る磁気メモリ装置に係わる。

【0002】

【従来の技術】

情報通信機器、特に携帯端末等の個人用小型機器の飛躍的な普及に伴い、これを構成するメモリやロジック等の素子には、高集積化、高速化、低電力化等、一層の高性能化が要請されている。特に不揮発性メモリの高密度・大容量化は、可動部分の存在により本質的に小型化が不可能なハードディスクや光ディスクを置き換える技術として、ますます重要になってきている。 40

【0003】

不揮発性メモリとしては、半導体を用いたフラッシュメモリや、強誘電体を用いたFRAM (Ferro electric Random Access Memory) 等が挙げられる。

しかしながら、フラッシュメモリは、書き込み速度が μ 秒のオーダーと遅いという欠点がある。一方、FRAMにおいては、書き換え可能回数が少ないという問題が指摘されている。

【0004】

これらの欠点がない不揮発性メモリとして注目されているのが、例えば「Wang et 50

al., IEEE Trans. Magn. 33 (1997), 4498」に記載されているような、MRAM (Magnetic Random Access Memory) と呼ばれる磁気メモリである。このMRAMは、構造が単純であるため高集積化が容易であり、また磁気メモリの回転により記録を行うために書き換え可能回数が大である。またアクセス時間についても非常に高速であることが予想され、既にナノ秒台で動作可能であることが確認されている。

【0005】

このMRAMに用いられる磁気抵抗効果素子、特にトンネル磁気抵抗効果 (Tunnel Magnetoresistance: TMR) 素子は、基本的に強磁性層・トンネルバリア層・強磁性層の積層構造で構成される。この素子では、強磁性層間に一定の電流を流した状態で強磁性層間に外部磁場を印加した場合、両磁性層の磁化の相対角度に応じて磁気抵抗効果が現れる。双方の強磁性層の磁化の向きが反平行の場合は抵抗値が最大となり、平行の場合は抵抗値が最小となる。メモリ素子としての機能は外部磁場により反平行と平行の状態を作り出すことによってもたらされる。

【0006】

特にスピバルブ型のTMR素子においては、一方の強磁性層が隣接する反強磁性層と反強磁性的に結合することによって磁化の向きが常に一定とされた磁化固定層とされる。他方の強磁性層は、外部磁場等によって容易に磁化反転する磁化自由層とされる。そして、この磁化自由層が磁気メモリにおける情報記録層となる。

【0007】

スピバルブ型のTMR素子において、その抵抗値の変化率は、それぞれの強磁性層のスピントランスを P_1 , P_2 とすると、下記の式(A)で表される。

$$2P_1P_2 / (1 - P_1P_2) \quad (A)$$

【0008】

このように、それぞれのスピントランスが大きいく、抵抗変化率が大きくなる。強磁性層に用いる材料と、この抵抗変化率の関係については、これまでにFe, Co, Ni等のFe族の強磁性体元素やそれら3種類のうちの合金についての報告がなされている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、MRAMの基本的な構成は、例えば特開平10-116490号公報に開示されているように、複数のビット書き込み線（いわゆるビット線）と、これら複数のビット書き込み線に直交する複数のワード書き込み線（いわゆるワード線）とを設け、これらビット書き込み線とワード書き込み線との交点に磁気メモリ素子としてTMR素子が配されて成る。そして、このようなMRAMで記録を行う際には、アステロイド特性を利用してTMR素子に対して選択書き込みを行う。

【0010】

MRAMに使用されるビット書き込み線やワード書き込み線には、CuやAlといった半導体で通常使用される導体薄膜が使用され、例えば反転磁界200 Oeの素子に0.25 μ m線幅の書き込み線と書き込むためには、約2 mAの電流が必要であった。書き込み線の厚さが線幅と同じ場合、その際の電流密度は3.2 $\times 10^6$ A/cm²となり、エレクトロマイグレーションによる断線限界値に近い。また、書き込み電流による発熱の問題や、消費電力低減の観点からもこの書き込み電流を低減させる必要がある。

【0011】

MRAMにおける書き込み電流の低減を実現する手法として、TMR素子の保磁力を低減させることが挙げられる。TMR素子の保磁力は、素子の大きさ、形状、膜構成、材料の選択等によって適宜決定されるものである。

しかしながら、例えばMRAMの記録密度の向上を目的としてTMR素子を微細化した場合には、TMR素子の保磁力が上昇するといった不都合が生じる。

従って、MRAMの微細化（高集積化）と書き込み電流の低減とを同時に達成するために、材料面からTMR素子の保磁力低減を達成する必要がある。

10

20

30

40

50

【0012】

また、MRAMにおいてTMR素子の磁気特性が素子毎にばらつくことや、同一素子を繰り返し使用した場合のばらつきが存在すると、アステロイド特性を使用した選択書き込みが困難になるという問題点がある。

従って、TMR素子には、理想的なアステロイド曲線を描かせるための磁気特性も求められる。

理想的なアステロイド曲線を描かせるためには、TMR測定を行った際のR-H（抵抗-磁場）ループにおいてバルクハウゼンノイズ等のノイズがないこと、波形の角型性がよいこと、磁化状態が安定しており保磁力H_cのばらつきが少ないことが必要である。

【0013】

ところで、MRAMのTMR素子における情報の読み出しは、トンネルバリア層を挟んだ一方の強磁性層と他方の強磁性層の磁気モーメントの向きが反平行であり抵抗値が高い場合を例えば“1”、その逆に各々の磁気モーメントが平行である場合を“0”としてそれらの状態での一定バイアス電圧での差電流や一定バイアス電流での差電圧により読み出しを行う。

従って、素子間の抵抗ばらつきが同じである場合には、TMR比（磁気抵抗変化率）が高いほど有利であり、高速で集積度が高く、エラーレートの低いメモリが実現される。

【0014】

また、強磁性層／トンネルバリア層／強磁性層の基本構造を有するTMR素子にはTMR比のバイアス電圧依存性が存在し、バイアス電圧が上昇するにつれてTMR比が減少していくことが知られている。多くの場合にTMR比がバイアス電圧依存性により半減する電圧（V_h）で読み出し信号の最大値をとることが知られているので、バイアス電圧依存性も少ない方が読み出しエラーの低減において有効である。

【0015】

従って、MRAMに用いられるTMR素子としては、上述の書き込み特性要件と読み出し特性要件を同時に満足する必要がある。

【0016】

しかしながら、TMR素子の強磁性層の材料を選択する場合に、式（A）のP1及びP2で示されるスピンド分極率が大きくなるような合金組成をCo、Fe、Niの強磁性遷移金属元素のみを成分とする材料から選択すると、一般的にTMR素子の保磁力H_cが増大する傾向にある。

【0017】

例えば、Co₇₅Fe₂₅（原子%）合金等を、磁化自由層（フリー層）即ち情報記録層に用いた場合には、スピンド分極率が大きく40%以上の高いTMR比が確保できるが、保磁力H_cも大きくなる。

【0018】

一方、軟磁性材料として知られるパーマロイと呼ばれるNi₈₀Fe₂₀（原子%）合金を用いた場合には、保磁力H_cは低減させることができるものの、上述のCo₇₅Fe₂₅（原子%）合金と比較してスピンド分極率が低いためにTMR比が33%程度まで低下してしまう。

【0019】

さらに、上述の2つの組成の合金の中間の特性を有するCo₉₀Fe₁₀（原子%）合金を用いると、約37%のTMR比が得られると共に、保磁力H_cを上述のCo₇₅Fe₂₅（原子%）合金とNi₈₀Fe₂₀（原子%）合金との中間程度に抑えられるが、R-Hループ（抵抗-磁場曲線）の角型性が劣り、書き込みを可能とするアステロイド特性が得られない。また、素子毎の磁化自由層の反転磁界が安定しないという問題も発生する。

【0020】

上述した問題の解決のために、本発明においては、良好な磁気特性を有する磁気抵抗効果素子、及びこの磁気抵抗効果素子を備えて優れた書き込み・読み出し特性を有する磁気メモリ装置を提供するものである。

10

20

30

40

50

【0021】

【課題を解決するための手段】

本発明の磁気抵抗効果素子は、対の強磁性層が中間層を介して対向されてなり、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成であって、強磁性層の一方が磁化固定層であり、もう一方が磁化自由層であり、磁化自由層は FeCoB 或いは FeCoNiB を含有する強磁性材料から成り、かつ磁化自由層の膜厚が2 nm以上8 nm以下であるものである。

【0022】

本発明の磁気メモリ装置は、対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んで成る強磁性トンネル結合を有し、膜面に垂直方向に電流が流れるように設計された磁気抵抗効果素子と、この磁気抵抗効果素子を厚み方向に挟むワード線及びビット線とを備え、強磁性層の一方が磁化固定層であり、もう一方が磁化自由層であり、磁化自由層は FeCoB 或いは FeCoNiB を含有する強磁性材料から成り、かつ磁化自由層の膜厚が2 nm以上8 nm以下であるものである。

【0023】

上述の本発明の磁気抵抗効果素子の構成によれば、磁化自由層は FeCoB 或いは FeCoNiB を含有する強磁性材料から成り、かつ磁化自由層の膜厚が2 nm以上8 nm以下であることにより、磁気抵抗変化率（磁気抵抗比）を向上し、抵抗－磁場曲線の角形性や保磁力のばらつきを改善することが可能になる。

【0024】

上述の本発明の磁気メモリ装置の構成によれば、磁気抵抗効果素子と、磁気抵抗効果素子を厚み方向に挟むワード線及びビット線とを備え、磁気抵抗効果素子が上記の本発明の磁気抵抗効果素子の構成であることにより、上述のように磁気抵抗比、抵抗－磁場曲線の角形性、保磁力のばらつき等の磁気抵抗効果素子の磁気特性が改善されることから、情報の書き込みや読み出しにおけるエラーを低減することができる。

【0025】

【発明の実施の形態】

本発明は、対の強磁性層が中間層を介して対向されてなり、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子であって、強磁性層の一方が磁化固定層であり、もう一方が磁化自由層であり、磁化自由層は FeCoB 或いは FeCoNiB を含有する強磁性材料から成り、かつ磁化自由層の膜厚が2 nm以上8 nm以下である磁気抵抗効果素子である。

【0026】

また本発明は、上記磁気抵抗効果素子において、中間層として絶縁体もしくは半導体から成るトンネルバリア層を用いたトンネル磁気抵抗効果素子である構成とする。

【0027】

また本発明は、上記磁気抵抗効果素子において、積層フェリ構造を有する構成とする。

【0028】

本発明は、対の強磁性層の間にトンネルバリア層を挟んで成る強磁性トンネル結合を有し、膜面に垂直方向に電流が流れるように設計された磁気抵抗効果素子と、磁気抵抗効果素子を厚み方向に挟むワード線及びビット線とを備えた磁気メモリ装置であって、強磁性層の一方が磁化固定層であり、もう一方が磁化自由層であり、磁化自由層は FeCoB 或いは FeCoNiB を含有する強磁性材料から成り、かつ磁化自由層の膜厚が2 nm以上8 nm以下である磁気メモリ装置である。

【0029】

また本発明は、上記磁気メモリ装置において、磁気抵抗効果素子は、中間層として絶縁体もしくは半導体から成るトンネルバリア層を用いたトンネル磁気抵抗効果素子である構成とする。

【0030】

また本発明は、上記磁気メモリ装置において、磁気抵抗効果素子が積層フェリ構造を有す

る構成とする。

【0031】

まず、本発明の磁気抵抗効果素子の一実施の形態の概略構成図を図1に示す。この図1に示す実施の形態は、本発明をトンネル磁気抵抗効果素子（以下、TMR素子と称する。）に適用した場合を示している。

【0032】

このTMR素子1は、シリコン等からなる基板2上に、下地層3と、反強磁性層4と、強磁性層である磁化固定層5と、トンネルバリア層6と、強磁性層である磁化自由層7と、トップコート層8とがこの順に積層されて構成されている。即ち、強磁性層の一方が磁化固定層5とされ、他方が磁化自由層7とされた、いわゆるスピンバルブ型のTMR素子を構成しており、対の強磁性層である磁化固定層5と磁化自由層7とでトンネルバリア層6を挟み込むことにより、強磁性トンネル接合9を形成している。

そして、磁気メモリ装置等にこのTMR素子1を適用した場合には、磁化自由層7が情報記録層となり、そこに情報が記録される。

【0033】

反強磁性層4は、強磁性層の一方である磁化固定層5と反強磁性的に結合することにより、書き込みのための電流磁界によっても磁化固定層5の磁化を反転させず、磁化固定層5の磁化の向きを常に一定とするための層である。即ち、図1に示すTMR素子1においては、他方の強磁性層である磁化自由層7だけを外部磁場等によって磁化反転させる。磁化自由層7は、TMR素子1を例えば磁気メモリ装置等に適用した場合に情報が記録される層となるため、情報記録層とも称される。

反強磁性層4を構成する材料としては、Fe、Ni、Pt、Ir、Rh等を含むMn合金、Co酸化物、Ni酸化物等を使用することができる。

【0034】

磁化固定層5を構成する強磁性体材料としては、特に限定はないが、鉄、ニッケル、コバルトの1種もしくは2種以上から成る合金材料を使用することができる。

【0035】

図1に示すスピンバルブ型のTMR素子1においては、磁化固定層5は、反強磁性層4と反強磁性的に結合することによって磁化の向きを一定とされる。このため、書き込みの際の電流磁界によっても磁化固定層5の磁化は反転しない。

【0036】

トンネルバリア層6は、磁化固定層5と磁化自由層7とを磁気的に分離するとともに、トンネル電流を流すための層である。

トンネルバリア層6を構成する材料としては、例えばAl、Mg、Si、Li、Ca等の酸化物、窒化物、ハロゲン化物等の絶縁材料を使用することができる。

【0037】

このようなトンネルバリア層6は、スパッタリング法や蒸着法等によって成膜された金属膜を、酸化又は窒化するにより得ることができる。

また、有機金属と、酸素、オゾン、窒素、ハロゲン、ハロゲン化ガス等を用いるCVD法によっても得ることができる。

【0038】

本実施の形態においては、特に磁化自由層7がCoFeBまたはCoFeNiBを含有する強磁性材料から成る構成とする。

このような構成とすることにより、TMR比（磁気抵抗比）を高くして、保磁力Hcを低減することが可能になる。また、抵抗-磁場曲線（R-H曲線）の角形性を向上することが可能になる。

【0039】

ここで、磁化自由層が、本発明の範囲内であるCo72Fe8B20（原子%）の組成の強磁性材料を含有して成る場合と、Co90Fe10（原子%）の組成の強磁性材料を含有して成る場合のTMR素子をそれぞれ実際に作製し、これらについて抵抗-外部磁場曲

10

20

30

40

50

線を測定した結果を図2に示す。図中実線が $\text{Co}_{72}\text{Fe}_{8}\text{B}_{20}$ の場合を示し、図中破線が $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ の場合を示す。

図2から明らかなように、磁化自由層がFe、Co、Bを含有する強磁性層から成る構成のTMR素子では、磁化自由層がFe及びCoのみを含有する強磁性層から成るTMR素子と比較して、TMR比を高く維持しつつ保磁力Hcを低減することが可能であることがわかる。また、抵抗-外部磁場曲線(R-H曲線)の角形性が向上すると共に、パルクハウゼンノイズも低減されることがわかる。従って、本発明によれば、書き込み電流の低減が可能となるばかりでなく、アステロイド曲線の形状も改善されて書き込み特性が向上し、書き込みエラーの低減を図ることが可能となる。

【0040】

尚、 FeCoB 及び FeCoNiB の組成には最適範囲が存在し、特願2002-106926号に記載したように、 FexCo y Bz (原子%)において、 $5 \leq x \leq 45$ 、 $35 \leq y \leq 85$ 、 $10 \leq z \leq 30$ を満たす範囲とすることが好ましく、また FeaCobNid (原子%)において、 $5 \leq a \leq 45$ 、 $35 \leq b \leq 85$ 、 $0 < c \leq 35$ 、 $10 \leq d \leq 30$ を満たす範囲とすることが好ましい。

【0041】

さらに、本実施の形態においては、磁化自由層7の膜厚を2nm以上8nm以下とする。このような膜厚範囲とすることにより、TMR比を高くすると共に、磁化自由層7の保磁力のばらつきを低減することができる。磁化自由層7の保磁力のばらつきを低減するので、磁化自由層7の磁化を反転する反転磁界のばらつきを低減することができる。また、磁化自由層7の磁化の反転が急峻になる。

【0042】

磁化自由層7の膜厚が2nm未満であると、TMR素子1のTMR比が小さくなってしまふことから、例えば磁気メモリ装置に適用した場合の読み出し特性が悪くなる。磁化自由層7の膜厚が8nmを超えていると、磁化自由層7の磁化の反転が急峻に起こらなくなる(応答性が悪くなる)ことから、例えば磁気メモリ装置に適用した場合の書き込み動作に不完全性をもたらすことになる。

【0043】

上述の本実施の形態のTMR素子1の構成によれば、磁化自由層7が CoFeB 或いは CoFeNiB を含有する強磁性材料から成り、磁化自由層7の膜厚が2nm以上8nm以下であることにより、高いTMR比(磁気抵抗比)が得られ、抵抗-磁場曲線の角形性を改善することができる。また、保磁力Hcを低減すると共にそのばらつきを抑制して、TMR素子1のアステロイド曲線の形状を改善することができる。さらに、磁化自由層7の磁化の反転も急峻に起こるようにすることができる。

【0044】

これにより、例えば多数のTMR素子を有して成る磁気メモリ装置にTMR素子1を適用した場合に、TMR素子1のアステロイド曲線の形状を改善し、また磁化自由層7の磁化反転を急峻にして、書き込み特性を向上することにより、書き込みエラーを低減することができる。

また、TMR素子を有して成る磁気ヘッドや磁気センサに適用した場合には、反転磁界の設計値からのずれを抑制して、製造歩留まりを向上することや動作不良を防止することが可能になる。

【0045】

尚、本発明においては、図1に示すような磁化固定層5及び磁化自由層7のそれぞれが単層から構成されたTMR素子1に限定されない。

例えば図3に示すように、磁化固定層5が、第1の磁化固定層5aと第2の磁化固定層5bとで非磁性導電体層5cを挟み込んでなる積層フェリ構造とされる場合であっても、本発明の効果をを得ることができる。

【0046】

図3に示すTMR素子10では、第1の磁化固定層5aが反強磁性層4と接しており、こ

10

20

30

40

50

これらの層間に働く交換相互作用によって、第1の磁化固定層5aは強い一方の磁気異方性を持つ。また、第2の磁化固定層5bは、トンネルバリア層6を介して磁化自由層7と対向し、スピンの向きが磁化自由層7と比較され直接MR比に関わる強磁性層となるため、参照層とも称される。

【0047】

積層フェリ構造の非磁性導電体層5cに用いられる材料としては、例えばRu、Rh、Ir、Cu、Cr、Au、Ag等が挙げられる。図3のTMR素子10において、その他の層は図1に示したTMR素子1とほぼ同様の構成であるため、図1と同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

【0048】

この積層フェリ構造を有するTMR素子10においても、磁化自由層7がCoFeB或いはCoFeNiBを含有する強磁性材料から成り、磁化自由層7の膜厚が2nm以上8nm以下である構成とすることにより、図1に示したTMR素子1と同様に、高いTMR比（磁気抵抗比）が得られ、抵抗-磁場曲線の角形性を改善することができる。また、保磁力Hcを低減すると共にそのばらつきを抑制して、TMR素子10のアステロイド曲線の形状を改善することができる。さらに、磁化自由層7の磁化の反転も急峻に起こるようにすることができる。

【0049】

尚、上述の実施の形態では、磁気抵抗効果素子としてTMR素子（トンネル磁気抵抗効果素子）1、10を用いたが、本発明は、対の強磁性層が中間層を介して対向され、膜面に対して垂直に電流を流して磁気抵抗変化を得る構成を有するその他の磁気抵抗効果素子にも適用することができる。

例えば中間層としてCu等の非磁性導電層を用いた巨大磁気抵抗効果素子（GMR素子）で、膜面に対して垂直に電流を流して磁気抵抗効果を得る構成、即ちいわゆるCPP型のGMR素子にも本発明を適用することができる。

【0050】

さらに、磁化固定層や反強磁性体の材料、反強磁性体層の有無、磁化固定層側における積層フェリ構造の有無等は、本発明の本質を損なわない限り種々の変形が可能である。

【0051】

上述のようなTMR素子1、10等の磁気抵抗効果素子は、例えばMRAM等の磁気メモリ装置に用いられて好適である。以下、本発明のTMR素子を用いたMRAMについて、図を参照しながら説明する。

【0052】

本発明のTMR素子を有するクロスポイント型のMRAMアレイを、図4に示す。このMRAMアレイは、複数のワード線WLと、これらワード線WLと直交する複数のビット線BLとを有し、ワード線WLとビット線BLとの交点に本発明のTMR素子が配置されて成るメモリセル11とを有する。即ち、このMRAMアレイでは、3×3のメモリセル11がマトリクス状に配置される。

【0053】

尚、MRAMアレイに用いられるTMR素子としては、図1に示したTMR素子1に限定されず、積層フェリ構造を有する図3に示すTMR素子10等、膜面に対して垂直に電流を流すことによって磁気抵抗変化を得る構成の磁気抵抗効果素子において、磁化自由層がCoFeB或いはCoFeNiBを含有する強磁性材料から成り、かつ膜厚が2nm以上8nm以下である構成であればいかなる構成であっても構わない。

【0054】

また、メモリ装置に多数あるメモリセルから1つのメモリセルを取り出して、断面構造を図5に示す。

各メモリセル11は、図5に示すように、例えばシリコン基板12上に、ゲート電極13、ソース領域14及びドレイン領域15からなるトランジスタ16を有する。ゲート電極13は、読み出し用のワード線WL1を構成している。ゲート電極13上には、絶縁層を

10

20

30

40

50

介して書き込み用のワード線（前述したワード書き込み線に相当する）WL 2 が形成されている。トランジスタ 16 のドレイン領域 15 にはコンタクトメタル 17 が接続され、さらにコンタクトメタル 17 には下地層 18 が接続されている。この下地層 18 上の書き込み用のワード線 WL 2 の上方に対応する位置に、本発明の TMR 素子 1 が形成されている。この TMR 素子 1 上に、ワード線 WL 1 及び WL 2 と直交するビット線（前述したビット書き込み線に相当する）BL が形成されている。尚、下地膜 18 は、平面位置の異なる TMR 素子 1 とドレイン領域 15 との電気的接続をする役割から、バイパスとも称される。

また、各ワード線 WL 1、WL 2 と TMR 素子 1 とを絶縁するための層間絶縁膜 19 及び絶縁膜 20 と、全体を保護するパッシベーション膜（図示せず）等を有して成る。

【0055】

この MRAM は、磁化自由層 7 が CoFeB 或いは CoFeNiB を含有する強磁性材料から成り、かつ磁化自由層 7 の膜厚が上述した特定範囲内である構成とされた TMR 素子 1 を用いているので、TMR 出力に極めて優れ、メモリ動作の安定性が飛躍的に向上する。また、抵抗-磁場曲線（R-H 曲線）においてノイズが低減し、保磁力が均一になりアステロイド特性が向上するので、書き込みエラーの低減を図ることができる。さらに、磁化自由層 7 の磁化反転が急峻となるので、書き込み動作が完全になされる。

即ち読み出し特性及び書き込み特性を同時に満足することができる。

【0056】

（実施例）

以下、本発明を適用した具体的な実施例について、実験結果に基づいて説明する。

尚、図 5 に示したように、MRAM には TMR 素子 1 以外にスイッチング用のトランジスタ 16 が存在するが、本実施例では TMR 特性を調べるために、図 6 及び図 7 に示ような強磁性トンネル接合のみを形成したウェハにより特性の測定・評価を行った。

そして、磁化自由層に FeCoB 或いは FeCoNiB を用いた場合に、その膜厚が TMR 比や磁気特性に及ぼす効果について検討した。

【0057】

図 6 に平面図、図 7 に図 6 の A-A における断面図をそれぞれ示すように、特性評価用素子 TEG（Test Element Group）として、基板 21 上にワード線 WL とビット線 BL とが直交して配置され、これらワード線 WL とビット線 BL との交差する部分に TMR 素子 22 が形成された構造を作製した。この TEG は、TMR 素子 22 が楕円形状であり、ワード線 WL 及びビット線 BL の両端にそれぞれ端子パッド 23、24 が形成され、ワード線 WL とビット線 BL とを Al₂O₃ から成る絶縁膜 25、26 によって互いに電気的に絶縁した構成となっている。

尚、楕円形状の TMR 素子 22 は、短軸 0.6 μm × 長軸 1.2 μm、短軸 0.8 μm × 長軸 1.6 μm、短軸 2.0 μm × 長軸 4.0 μm の 3 種類の寸法のものを作製した。

【0058】

具体的には、次のようにして図 6 及び図 7 に示す TEG を作製した。

まず、表面に熱酸化膜（厚さ 2 μm）が形成された厚さ 0.6 mm のシリコンから成る基板 21 を用意した。

次に、この基板 21 上にワード線の材料を成膜し、フォトリソグラフィによってマスクした後、ワード線以外の部分を Ar プラズマにより選択的にエッチングし、ワード線 WL を形成した。このとき、ワード線 WL 以外の領域は、基板 21 の深さ 5 nm までエッチングした。

その後、ワード線 WL を覆って絶縁膜 26 を形成し、表面を平坦化した。

【0059】

続いて、下記の層構成（1）からなる TMR 素子 22 を、公知のリソグラフィ法及びエッチングにより作製した。層構成（1）は、／の左側が基板側となっており、（）内は膜厚を示す。

Ta（3 nm）／PtMn（30 nm）／CoFe（3 nm）／Ru（0.8 nm）／C

10

20

30

40

50

$$\text{O Fe (2.5 nm) / Al (1 nm) - O}_x \text{ / FeCoB (t nm) / Ta (5 nm)}$$

【0 0 6 0】

尚、上記の層構成(1)のうち、磁化自由層を構成するFeCoBの組成をFe₈Co₇B₂₀(原子%)もしくはFe₂₀Co₆₀B₂₀(原子%)とした。

また、各 C o F e 膜の組成を、C o 7 5 F e 2 5 (原子%)とした。

【 0 0 6 1 】

トンネルバリア層6のAl₁O_x膜は、まず金属Al膜をDCスパッタ法により1nm堆積させ、その後酸素/アルゴンの流量比を1:1とし、チャンバース圧を0.1mTorrとし、ICP(誘導結合プラズマ)からのプラズマにより金属Al膜をプラズマ酸化させることにより形成した。酸化時間はICPプラズマ出力に依存するが、本実施例では30秒とした。

【0 0 6 2】

また、トンネルバリア層 6 の $\text{Al}-\text{O}_x$ 膜以外の膜は、DC マグネトロンスパッタ法で成膜した。

【 0 0 6 3 】

次に、磁場中熱処理炉にて、10 kOe の磁界中、265℃で、4時間の熱処理を行い、反強磁性層である PtMn 層の規則化熱処理を行い、強磁性トンネル接合 9 を形成した。続いて、TMR 素子 2 2 及びその下の絶縁膜 26 をパターンニングして、図 6 に示す平面パターンを有する TMR 素子 2 2 を形成した。

さらに、 Al_2O_3 をスパッタすることにより、厚さ100 nm程度の絶縁層25を成膜し、さらにフォトリソグラフィによりビット線BL及び端子パッド24を形成し、図6及び図7に示したTEGを得た。

【0064】

作製されたサンプルの TEG について、下記のようにして R-H 曲線の測定を行って、さらに R-H 曲線から、TMR 比、保磁力及びそのばらつきと角形比を求めた。

【0065】

(R-H 曲線の測定)

通常のMRAM等の磁気メモリ装置では、電流磁界によって磁気抵抗効果素子を磁化反転させて情報を書き込むが、本実施例では、外部磁界によって磁気抵抗効果素子を磁化させることにより、抵抗値の測定を行った。即ち、まずTMR素子22の磁化自由層を磁化反転させるための外部磁界（反転磁界）を磁化自由層の磁化容易軸に対して平行となるように印加した。測定のための外部磁界の大きさは、1000eとした。

【 0 0 6 6 】

次に、磁化自由層の磁化容易軸の一方側から見て -1000 e から $+1000\text{ e}$ まで掃引すると同時に、ワード線WLの端子パッド23とビット線BLの端子パッド24とにかかるバイアス電圧が 1.0 mV と異なるように調節して、強磁性トンネル接合にトンネル電流を流した。このときの各外部磁界に対する抵抗値を測定してR-H曲線を得た。

【0067】

(TMR比)

磁化固定層と磁化自由層の磁化が反平行の状態にあって抵抗が高い状態の抵抗値と、磁化固定層と磁化自由層の磁化が平行の状態にあって抵抗が低い状態の抵抗値を測定し、これからTMR比（磁気抵抗変化率）を求めた。

尚、良好な読み出し特性を得るといった観点から、この TMR 比は 45% 以上であることが好ましい。

【 0 0 6 8 】

(保磁力 H_c のばらつき)

上記の測定方法により R-H 曲線を測定し、R-H 曲線から、磁化固定層と磁化自由層の磁化が反平行の状態であって抵抗が高い状態での抵抗値と、磁化固定層と磁化自由層の磁化が平行の状態であって抵抗が低い状態での抵抗値との平均値を求め、この平均値の抵抗

値が得られるときの外部磁界の値を保磁力 H_c とした。この保磁力 H_c を、ウェハ内の全素子 (TEG) に対して行い、これらの平均値と標準偏差 σ を求めた。そして、 $\sigma / (H_c \text{ の平均値})$ を保磁力 H_c のばらつきの値とした。

尚、書き込み特性の向上を図るといった観点から、保磁力 H_c のばらつきは、10%以下であることが好ましい。

【0069】

まず、磁化自由層の組成が $Fe_8Co_{72}B_{20}$ (原子%)、TMR素子22のサイズが $0.8 \times 1.6 \mu m^2$ であり、磁化自由層の膜厚 t を1.5 nm、3 nm、10 nmと変えたときにおける、抵抗-磁場曲線 (R-H曲線) を図8に示す。尚、縦軸は抵抗値の代わりに、トンネル磁気効果 (TMR) により抵抗が変化した割合 (%) を示している。

【0070】

図8に示すように、磁化自由層の膜厚 $t = 3 \text{ nm}$ の場合には、高いTMR比と急峻な磁化反転が実現されている。尚、図示しないが、磁化自由層の膜厚 t が $2 \text{ nm} \leq t \leq 8 \text{ nm}$ の範囲内である場合には、このような理想的なR-H曲線が観測された。

また、磁化自由層が2 nmよりも薄い場合、例えば $t = 1.5 \text{ nm}$ では、TMR比が20%に減少してしまっている。これは、磁化自由層が磁化を十分に保持できていないためである。

さらに、磁化自由層が8 nmよりも厚い場合、例えば $t = 10 \text{ nm}$ では、TMR比は高い値を維持するものの、磁化の反転が2ステップで起こっていて、2回目の反転は非常に緩やかであることがわかる。

MRAM等の磁気メモリ装置においては、選択書き込みを行うために磁化が急峻に反転することが必要であり、この点を考慮すると、磁化自由層を8 nmよりも厚くすることは不都合であることがわかる。

【0071】

続いて、磁化自由層の組成を $Fe_8Co_{72}B_{20}$ (原子%) として、磁化自由層の膜厚 t を1.5 nm、2 nm、2.5 nm、3 nm、4 nm、6 nm、8 nm、10 nmと変えた場合の磁化自由層の膜厚と、TMR比、保磁力 H_c の平均、保磁力 H_c のばらつきとの関係を、それぞれ図9A、図9B、図9Cに示す。

また、磁化自由層の組成を $Fe_{20}Co_{60}B_{20}$ (原子%) として、図9A～図9Cと同様に磁化自由層の膜厚 t を変えた場合の磁化自由層の膜厚と、TMR比、保磁力 H_c の平均、及び保磁力 H_c のばらつきとの関係を、それぞれ図10A、図10B、図10Cに示す。

【0072】

図9A及び図10Aより、いずれの組成の場合も、TMR比は磁化自由層の膜厚が2 nm以上である場合に45%以上と実用に耐えうる値を示した。磁化自由層の膜厚を3 nm程度としたとき、 $Fe_8Co_{72}B_{20}$ (原子%) で54%、 $Fe_{20}Co_{60}B_{20}$ (原子%) で57%の値にそれぞれ飽和する。

【0073】

図9B及び図10Bより、保磁力 H_c (平均値) は、磁化自由層の膜厚が2 nm～3 nmの範囲のときには、膜厚とともに単調に増加する。この範囲においては、必要な保磁力 H_c を得るために磁化自由層の膜厚を調整することが可能である。TMR比と同様に、磁化自由層の膜厚が3 nm以上となると反転磁界 H_c はほとんど増加しない。

ただし、上述したように、磁化自由層の膜厚が8 nmよりも厚い場合は、磁化反転は急峻ではないことに注意する必要がある。

【0074】

さらに、図9C及び図10Cより、保磁力 H_c のばらつきをみると、素子サイズにもよるが、微細な素子 (各図の■印) では磁化自由層の膜厚が4 nm程度で極小を持つことがわかる。そして、磁化自由層の膜厚が2 nm未満もしくは8 nmを超えると、保磁力ばらつきが急激に増加することがわかる。

【0075】

10

20

30

40

50

以上の結果から、磁化自由層の膜厚を2 nm以上8 nm以下とすることにより、TMR素子22の磁気特性が良好になることがわかり、従ってMRAM等の磁気メモリ装置に適用した場合に書き込み特性及び読み出し特性が大きく改善されることが明らかとなった。

【0076】

尚、本実施例では磁化自由層にFeCoBを用いた場合であったが、磁化自由層にFeCoNiBを用いた場合にも同様に、磁化自由層の膜厚を2 nm以上8 nm以下とすることにより、TMR素子22の磁気特性が良好になり、MRAM等の磁気メモリ装置に適用した場合に書き込み特性及び読み出し特性が大きく改善される。

【0077】

尚、本発明の磁気抵抗効果素子（TMR素子等）は、前述した磁気メモリ装置のみならず、磁気ヘッド及びこの磁気ヘッドを搭載したハードディスクドライブや磁気センサ、集積回路チップ、さらにはパソコン、携帯端末、携帯電話を始めとする各種電子機器、電子機器等に適用することができる。

【0078】

本発明は、上述の実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲でその他様々な構成が取り得る。

【0079】

【発明の効果】

上述の本発明の磁気抵抗効果素子によれば、磁気抵抗変化率（磁気抵抗比）を向上し、抵抗-磁場曲線の角形性を向上すると共に磁化反転の急峻性を改善し、保磁力のばらつきを改善することが可能になる。

従って、良好な磁気特性を安定して有する磁気抵抗効果素子を構成することができる。これにより、磁気抵抗効果素子を磁気メモリ装置に適用した場合に、書き込みエラーや読み出しエラーを低減することができ、優れた書き込み特性及び読み出し特性が得られる。

【0080】

また、本発明の磁気メモリ装置によれば、書き込みエラーや読み出しエラーが非常に少なく、優れた書き込み特性及び読み出し特性を有し、安定して動作する磁気メモリ装置を構成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態のTMR素子の概略構成図である。

【図2】磁化自由層にCoFeBを用いた場合とCoFeを用いた場合でTMR素子の抵抗-外部磁場曲線を比較した図である。

【図3】積層フェリ構造を有するTMR素子の概略構成図である。

【図4】本発明のTMR素子をメモリセルとして有する、クロスポイント型MRAMアレイの要部を示す概略構成図である。

【図5】図4に示すメモリセルの拡大断面図である。

【図6】TMR素子の評価用のTEGの平面図である。

【図7】図6のA-Aにおける断面図である。

【図8】磁化自由層の膜厚を変えたときの抵抗-磁場曲線を示す図である。

【図9】磁化自由層にFe9Co72B20を用いた場合の膜厚と磁気特性の関係を示した図である。

A 磁化自由層の膜厚とTMR比との関係を示す図である。

B 磁化自由層の膜厚と保磁力との関係を示す図である。

C 磁化自由層の膜厚と保磁力ばらつきとの関係を示す図である。

【図10】磁化自由層にFe20Co60B20を用いた場合の膜厚と磁気特性の関係を示した図である。

A 磁化自由層の膜厚とTMR比との関係を示す図である。

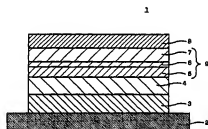
B 磁化自由層の膜厚と保磁力との関係を示す図である。

C 磁化自由層の膜厚と保磁力ばらつきとの関係を示す図である。

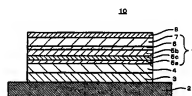
【符号の説明】

1, 10, 22 トンネル磁気抵抗効果素子 (TMR素子)、2, 21 基板、3 下地層、4 反強磁性層、5 磁化固定層、5a 第1の磁化固定層、5b 第2の磁化固定層 (参照層)、5c 非磁性導電体層、6 トンネルバリア層、7 磁化自由層、9 強磁性トンネル接合、11 メモリセル、23, 24 パッド、WL, WL1, WL2 ワード線、BL ビット線

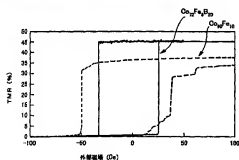
【図1】



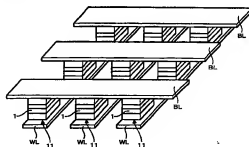
【図3】



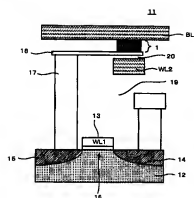
【図2】



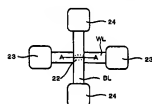
【図4】



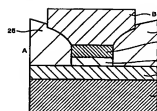
【図 5】



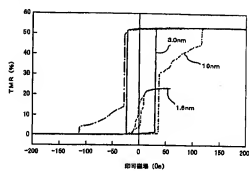
【図 6】



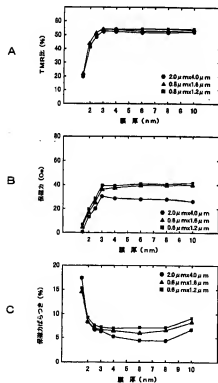
【図 7】



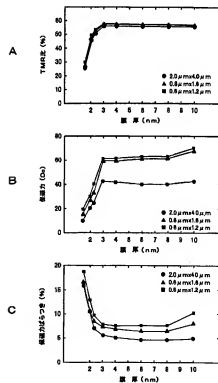
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 大場 和博
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 曾根 威之
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 別所 和宏
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 山元 哲也
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 水口 徹也
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- (72)発明者 鹿野 博司
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内
- Fターム(参考) 5E049 AA04 AC05 BA06
5F083 FZ10 GA15 JA36 JA37 JA38 JA39 MA06 MA19